

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



PCT/DE 02/4693

REC'D 26 MAR 2003

WIPO PCT

### Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

101 64 579.1

**Anmeldetag:**

28. Dezember 2001

**Anmelder/Inhaber:**

JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH, Jena/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels  
CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung

**IPC:**

B 23 K, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Februar 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Waasmaier

BEST AVAILABLE COPY



## Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung. Es ist für eine breite Palette solcher Fasern einsetzbar, die von Monomode- über Multimode- bis hin zu Gradientenfasern mit unterschiedlichsten anwenderspezifischen Durchmessern reicht. Auch ummantelte Fasern können mit dieser Methode getrennt werden. Speziell ist dieses Verfahren geeignet zur Konfektionierung von Faserendflächen in Steckern oder speziellen Endflächen für die Kupplung zu elektro-optischen Wandlern von Einzelglasfasern und Faserbündchen. Es zeichnet sich durch große Flexibilität, hohe Qualität der Trennflächen und somit geringe Nacharbeit sowie durch eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit und die Möglichkeit der Automatisierung des Trennprozesses aus.

Mit der weltweiten Umstellung der breitbandigen Datenübertragung auf Lichtleitfasern einher geht die Notwendigkeit der effizienten Konfektionierung dieser Fasern in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen. Ein Grundproblem stellt dabei aufgrund der hohen Ebenheitsanforderungen an die entstehende Endfläche, die im Allgemeinen eine dämpfungsarme Kopplung der Faser zu anderen optischen bzw. optoelektronischen Bauelementen ermöglichen muss, das einfache Trennen dar.

Im Gegensatz zu den Hightech Verfahren der Herstellung und der Applikationen der Fasern wirkt der gegenwärtige Stand der Technik des FaserTRENNENS eher altertümlich.

Nach wie vor sind die üblichen Verfahren des Trennens von Fasern rein manuell. Z.B. werden Trenngeräte auf der Basis des Anritzens der Faser mittels einer Diamantspitze genutzt. Die typische Arbeitsweise ist so, dass die abgemantelte Faser in eine große Führungsnut gelegt wird. Die exakte Bestimmung der Faserendlänge wird durch eine einstellbare Begrenzung oder durch eine Skalierung ermöglicht. Durch Schließen des Werkzeuges

wird die Faser fixiert und vorgespannt, anschließend ritzt eine Diamantklinge die Faser an und erzielt einen zur Faserachse rechtwinkligen bzw. einen um  $8^\circ$  vom rechten Winkel abweichenden Bruch. Bei ummantelten Fasern ist ein Abmanteln an der Bearbeitungsstelle nötig.

Noch einfacher in ihrer Funktion sind Diamant-Faseritzwerkzeuge (Cleaving Knifes) im Kugelschreiberformat, bei denen das Trennen (Brechen) der optischen Fasern durch leichtes Anritzen der Faseroberfläche (Kern bei Fasern mit Kunststoffcladding bzw. Cladding bei Quarz/Quarz-Fasern) erfolgt. Durch Ziehen der Faser übt man eine zur Faserachse axiale Kraft auf die angeritzte Stelle aus, die Faser bricht.

Die genannten Verfahren sind im Allgemeinen nur für Einzelfasern geeignet und optimiert. Versagen sie völlig, z.B. beim Trennen von Faserbündchen, wird die sehr grobe Methode des „Abschlagens“ verwendet, bei der natürlich sehr stark gestörte Trennflächen entstehen, die hohen nachträglichen Polieraufwand erfordern.

Allen mechanischen Verfahren ist eine Reihe von gravierenden Nachteilen gemeinsam. So kann z.B. der Trennvorgang nicht automatisiert werden. Die Verfahren sind sehr unflexibel, akzeptable Resultate sind jeweils nur für spezielle Faserformen und Konfektionierungen erzielbar. Typisch für die Trennfläche sind Ausplatzungen, verbleibende überstehende Glasspitzen und Mikrorisse, so dass erheblicher Arbeitsaufwand in die Nachbearbeitung gesteckt werden muss.

Zum Trennen mittels Laser scheint grundsätzlich der  $\text{CO}_2$  Laser geeignet zu sein, dessen Strahlung sich durch eine hohe Absorption aller für Lichtleitfasern geeigneten Glassorten, aber auch der Kunststoffe, die zur Ummantelung eingesetzt werden, auszeichnet.

Zum Trennen spröder Werkstoffe, insbesondere von Glas, mittels Laser sind aus dem Stand der Technik eine unüberschaubare Anzahl von Verfahren bekannt. Meist wird ein  $\text{CO}_2$  Laser als Strahlungsquelle eingesetzt.

Grundsätzlich unterscheiden sich diese Verfahren in solche, bei denen das Material entlang der gewünschten Trennlinie über die Transformations- bzw. Erweichungstemperatur erhitzt wird (Schmelzschnitten) und solche, bei denen mittels Laser eine thermische Spannung induziert wird, die spontan oder nach Setzen eines Initialrisses zum Bruch entlang der Trennlinie führt (Brechen). Für das Trennen mittels Schmelzschnitten sei hier beispielhaft die EP 0 062 484 genannt. Verfahren, bei denen Glas durch die Erzeugung von Bruchspannungen getrennt wird, sind z.B. in der DE 28 13 302, DE 43 05 107, US 3,543,979 und US 5,084,604 beschrieben. Insbesondere bei dieser Art von Verfahren ist die Verbesserung der Qualität der Trennfläche regelmäßig die Aufgabe der Erfindung.

Wie es sich bei der praktischen Erprobung jedoch gezeigt hat, sind sowohl das Schmelzschnitten als auch das Brechen nicht geeignet, um Lichtleitfasern mit der erforderlichen Qualität der Trennfläche zu trennen.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, das die Trennung unterschiedlichster Formen von Lichtleitfasern wie Mono- und Multimodefasern, Gradientenfasern, Glas- und Kunststofffasern als Einzelfaser oder Faserverbund, mit und ohne Ummantelung mit höchstmöglicher Präzision der Positionierung der Trennfläche und einer hohen Qualität der Trennfläche ermöglicht. Das Verfahren soll geeignet sein, Trennflächen rechtwinklich zum Faserkern aber auch geneigt zum Faserkern zu erzeugen. Die erforderliche Nacharbeit der Trennfläche soll minimal sein oder sogar ganz wegfallen. Das Verfahren soll vollständig automatisierbar sein. Diese Aufgabe wird für ein Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 dadurch gelöst, dass aus der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung ein Arbeitsstrahl 8 bestehend aus Einzelpulsen mit den Strahlungsparametern Impulsspitzenleistung  $\hat{P}$ , einige  $W \leq \hat{P} \leq 1 \text{ kW}$ , Impuls-Halbwertsbreite  $\tau_{\text{imp}}, 10^{-5} \text{ s} \leq \tau_{\text{imp}} \leq 10^{-4} \text{ s}$  und Impulsfolgefrequenz  $f_{\text{imp}}, 100 \text{ Hz} \leq f_{\text{imp}} \leq$  mehrere kHz ausgekoppelt wird und dass der Arbeitsstrahl 8 auf eine

fixierte Lichtleitfaser fokussiert und in einer Ebene entlang einer Bearbeitungszone hin- und herbewegt wird, so dass pro Einzelimpuls ein Elementarvolumen, annähernd gleich dem Produkt aus optischer Eindringtiefe  $d$  und auftreffendem Strahlquerschnitt, mit einem Durchmesser etwa gleich dem Fokusedurchmesser  $d_f$ , auf alle Fälle jedoch kleiner  $\sqrt{2} d_f$  abgetragen wird, bis die Lichtleitfaservollständig durchtrennt ist.

Es ist erfindungswesentlich, dass der Trennprozeß unabhängig von der konkreten Beschaffenheit der zu trennenden Einzelfaser oder des Faserverbundes (Objekt), nicht wie aus dem Stand der Technik für Glas bekannt „in einem Zuge“ durch intensive Strahlung eines CO<sub>2</sub>-Lasers erfolgt, sondern durch ein dem jeweiligen Material angepasstes spezielles Impulsregime mittels dem auf eine für die Faser extrem schonende Art und Weise Puls für Puls kleinste Werkstoffvolumina entlang einer Linie so lange in einem „sägeähnlichen“ Prozess abgetragen werden, bis die vollständige Trennung erreicht ist. Das heißt, der Gesamttrennschnitt setzt sich aus einer Vielzahl von Einzeltrennschnitten zusammen. Die Größenordnung der abgetragenen Werkstoffvolumina, nachfolgend „Elementarvolumina“ genannt, bestimmt sich aus dem Produkt von Strahlquerschnittsfläche in der Bearbeitungsebene und Eindringtiefe in das Material. Um die Strahlquerschnittsfläche möglichst klein zu halten, wird die Laserstrahlung vorteilhafterweise auf die Oberfläche des noch unbearbeiteten Objektes fokussiert und so geformt, dass die Rayleighlänge größer dem Gesamtdurchmesser des Objektes ist.

Dabei wird die Spitzenleistung der Impulse und ihre Dauer (und damit die Impulsenergie) so gewählt, dass gerade ein solches Elementarvolumen durch einen Impuls abgetragen (im Wesentlichen verdampft) wird. Man hat es dann mit einem absorptionskontrollierten Abtrag zu tun, bei dem der auftretende Anteil des geschmolzenen Materials und damit die Neigung zu Mikrorissen minimiert wird.

Um mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Lichtleitfasern trennen zu können, deren Gesamtdurchmesser  $> 0,1$  mm beträgt, ist natürlich eine sehr hohe Anzahl von Einzelimpulsen erforderlich. Um zu vernünftigen Bearbeitungsgeschwindigkeiten zu kommen, sollte deshalb die Folgefrequenz ausreichend groß, typisch in der Größenordnung kHz liegen.

Um dadurch jedoch die günstige Wirkung des Elementarvolumen-Abtrags nicht wieder zu eliminieren, ist eine so schnelle Bewegung des fokussierten Laserstrahls über die Probe erforderlich, dass die Pulse mit einer gewissen Überlappung nebeneinander auftreffen und damit die Elementarvolumina sich überlappend abgetragen werden. Vorteilhaft beträgt die Überlappung etwa 70%. Bei einem Überlauf des Strahls über die Einzelfaser bzw. den Faserverbund entsteht damit eine Schnitttiefe, die nicht wesentlich die Eindringtiefe der Strahlung in das Fasermaterial und damit die Größenordnung von  $10\text{ }\mu\text{m}$  übersteigt.

Der Gesamttrennschnitt wird durch eine entsprechende Anzahl von Überläufen des Strahls über die Einzelfaser bzw. den Faserverbund erreicht (Einzeltrennschnitte).

Der zeitliche Abstand zwischen der Erzeugung der Einzeltrennschnitte sollte so groß gewählt sein, dass eine ausreichende Abkühlung der zuletzt bearbeiteten Zone erfolgt. Dies dient wieder dem Ziel, keine größeren Schmelzanteile durch unzulässig hohe Aufsummierung der eingebrachten Strahlungsleistung zu erzeugen. Vorteilhaft ist eine Abkühlzeit von größenordnungsmäßig  $10^{-2} \dots 10^{-1}$  s.

Zurückkommend auf die anschauliche Darstellung des Verfahrens als „sägeähnlichen“ Prozeß entsprechen die Sägezähne den Strahlungsimpulsen und die Hin- und Herbewegung der „Säge“ den einzelnen Überläufen der Strahlung über die Einzelfaser bzw. den Faserverbund.

Das Verfahren ermöglicht es, nicht nur zu den Faserachsen senkrechte Schnitte durchzuführen, sondern einen weiten Winkelbereich für die Lage

der Trennfläche zu den Faserachsen zu erschließen. Dabei wirkt sich die Herstellung des Gesamttrennschnittes durch eine Vielzahl von Einzeltrennschnitten außerordentlich günstig auf die Präzision des gewünschten Winkels aus, da die Ausbildung der resultierenden Trennfläche nur in geringem Maße durch die Oberflächenspannung der beim Trennprozess auftretenden Schmelzanteile beeinflusst wird.

Ein weiterer Vorzug des Verfahrens beruht auf der Tatsache, dass alle Bestandteile der in Frage kommenden Faserkonfiguration, also die unterschiedlichsten Glassorten, Kunststoffe für die Ummantelung oder auch Kleber, auf ähnliche Weise CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung absorbieren, so dass alle diese Bestandteile mit einem optimierten Impulsregime getrennt werden können, wobei sich die Optimierung selbstverständlich vorrangig auf Faserkern und Fasermantel konzentriert.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a Aufbau einer ummantelten Lichtleitfaser vor der Trennung

Fig. 1b die ummantelte Lichtleitfaser nach der Trennung

Fig. 2 Grundaufbau einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

Fig. 3 Typischer Impulszug der auftreffenden Strahlung

Fig. 4 Hilfsdarstellung zur Erläuterung des Verfahrensablaufes

Fig. 5 Draufsicht auf die Schnittfuge – Überlappung der Einzelimpulse

Fig. 6 Hilfsdarstellung zur Erläuterung des Verfahrens an einem Faserverbund

Fig. 7 Hilfsdarstellung zur Erläuterung des Verfahrens an einer Einzelfaser unter definiertem Winkel zur Faserachse

An Hand der Fig. 1a und 1b soll das Grundproblem beim Trennen einer ummantelten Einzelfaser mittels Laserstrahlung gezeigt werden.

Die prinzipiellen Schwierigkeiten bestehen erstens in der geforderten hohen Präzision des Schnittes und zweitens in der Tatsache, dass die aus einem Faserkern 1, einem Fasermantel 2 und einer Schutzummantelung 3 und damit aus drei unterschiedlichen Werkstoffen bestehende Lichtleitfaser mit gleichen Strahlungsparametern getrennt werden soll.

Das hat grundsätzlich zur Folge, dass die Schutzummantelung 3, die im Allgemeinen aus einem Kunststoff besteht, wegen der wesentlich geringeren Abtragsschwelle im Vergleich zum Faserkern 1 und dem Fasermantel 2, auf einem wesentlich größeren Bereich abgetragen wird, d.h. nach dem Trennvorgang tritt die Schutzummantelung 3 um eine Strecke  $s$  hinter das Faserende zurück.

Darüber hinaus wird die Trennfläche über den Faserkern 1 und den Fasermantel 2 nie ideal eben sein, sondern eine gewisse Rundung mit der Pfeilhöhe  $h$  aufweisen. Um im Hinblick auf die Faserkopplung eine möglichst ebene Trennfläche zu erreichen, muss die Pfeilhöhe  $h$  möglichst klein gehalten werden, so dass entweder völlig auf eine Nachbearbeitung der Trennflächen verzichtet werden kann oder der dafür erforderliche Aufwand so klein wie möglich ist. Entscheidend hierfür ist, dass das stufenweise Trennen durch den Abtrag einzelner Elementarvolumina mit jeweils einem auf den Werkstoff optimierten Impulsregime erfolgt.

Zur Erläuterung des Verfahrens ist in Fig. 2 ein typischer Grundaufbau für eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens illustriert, die wenigstens einen CO<sub>2</sub>-Laser 6, eine Modulatoreinheit 7, eine Strahlauffangeinheit 11, eine Strahlablenkeinheit 12, eine justierbare Halteeinrichtung 14 und eine zentrale Steuereinheit 17 umfasst.

Die im Allgemeinen kontinuierliche Strahlung 4 des CO<sub>2</sub>-Lasers 6 wird mittels der Modulatoreinheit 7, die im Regime der „Doppeltransmission“ arbeitet, in zwei Strahlanteile zerlegt, einen Arbeitsstrahl 8 und einen Reststrahl 9 (vgl. Patent DE 40 4 744 C 2). Dabei werden aus dem Laserstrahl 4 periodisch Impulse ausgekoppelt, deren Parameter in weiten



Grenzen variiert und dem jeweiligen Trennprozess optimal angepasst werden können. Der Reststrahl 9 wird durch eine Strahlauffangeinheit 12 abgefangen, wobei dies entweder einfach ein Absorber ist, der die Strahlung vernichtet, oder ein Messgerät, mit dem z.B. die Konstanz der Strahlungsleistung online überwacht werden kann.

Durch eine Strahlführungseinheit 10, symbolisiert durch einen Spiegel, wird der Arbeitsstrahl 8 in eine Strahlableiteneinheit 12 gelenkt. Dies kann vorteilhaft ein Scanner mit integrierter Fokussiereinrichtung (z.B. mit einer F- $\Theta$ -Linse) sein, der für die erforderliche rasche Bewegung des fokussierten Arbeitsstrahls 8 um einen Auslenkwinkel  $\Theta$  über das zu bearbeitende Objekt 13 sorgt. Bei dem zu bearbeitenden Objekt 13 kann es sich um eine einzelne Lichtleitfaser (Einzelfaser) mit und ohne Ummantelung, ein Bündel von Lichtleitfasern (Faserverbund) mit und ohne Ummantelung oder auch um Faserkomponenten handeln. Das Objekt 13 ist auf einer justierbaren Präzisionshalterung 14 fixiert, die einerseits eine präzise x-y-Positionierung, z.B. im Genauigkeitsbereich 1/100 mm des Objektes gestattet und andererseits die Einstellung definierter Winkel  $\varphi$  zwischen Faserachse und Einstrahlebene und somit präzise Schrägschnitte ermöglicht.

Schließlich kann dieser Grundaufbau durch eine Zuführungseinrichtung 15 und eine Abführungseinrichtung 16 ergänzt werden, so dass der gesamte Prozess automatisch ablaufen kann. Die zentrale Steuereinheit 17 sorgt für die taktgerechte Ansteuerung aller relevanten Komponenten.

Eine zentrale Stellung im Verfahren nimmt die richtige Wahl der Impulsparameter des Arbeitsstrahles 8 ein. Fig. 3 illustriert einen charakteristischen Impulszug, der im Modulator 7 generiert und als Arbeitsstrahl 8 für den Trennprozess genutzt wird. Die relevanten Parameter des Impulszuges – Impulsspitzenleistung  $\hat{P}$ , Impuls-Halbwertsbreite  $\tau_{\text{imp}}$  und Impuls-Folgefrequenz  $f_{\text{imp}}$  – können durch die eingesetzte Modulatortechnik in weiten Grenzen variiert und für das Trennen des jeweiligen Objektes optimiert werden.

Typische Parameterbereiche sind:

einige W  $\leq \hat{P} \leq 1$  kW

$10^{-5} \text{ s} \leq \tau_{\text{imp}} \leq 10^{-4} \text{ s}$

$100 \text{ Hz} \leq f_{\text{imp}} \leq \text{mehrere kHz}$ .

- 5 Die Pulsparameter werden abhängig von den Materialparametern des zu trennenden Objektes so gewählt, dass die vom Objekt absorbierte Strahlungsleistung pro Impuls eine dünne Oberflächenschicht von wenigen  $\mu\text{m}$  (optische Eindringtiefe  $d$ ) auf seine Verdampfungstemperatur aufheizt. Mit der Verdampfung werden die im Randbereich der Verdampfungszone entstehenden Schmelzanteile mit ausgetrieben. Der Austrieb des Materialdampfes und der Schmelzanteile kann durch Beblasung der Probe mit einem Arbeitsgas, beispielsweise eignet sich für Glasfasern gereinigte Preßluft bei ca. 1 bar Arbeitsdruck, unterstützt werden.

- 15 Der Austrieb pro Impuls stellt das vorstehend definierte Elementarvolumen annähernd gleich Produkt aus optischer Eindringtiefe  $d$  und auftreffenden Strahlquerschnitt dar.

- 20 Das Verfahren soll an Hand der Fig. 4 und 5 für das Trennen einer Einzelfaser erläutert werden. Entsprechend Fig. 4 wird der modulierte und auf die Oberfläche der noch unbearbeiteten Einzelfaser fokussierte Arbeitsstrahl 8 über die Einzelfaser bewegt, indem der Arbeitsstrahl 8 um den Auslenkwinkel  $\Theta$  hin und her geschwenkt wird. Bei jedem Überstreichen erfolgt ein Materialabtrag annähernd um die optische  
25 Eindringtiefe  $d$  in der Größenordnung  $10^{-5} \text{ m}$ , nachfolgend Teilschnitt genannt.

- 30 Um für die einzelnen Teilschnitte weitgehend gleiche Fokussierbedingungen zu haben, sollte die Rayleighlänge  $z_R$  des fokussierten Strahles – sie charakterisiert den Bereich der Strahlkaustik, in dem die Intensität um maximal einen Faktor 2 variiert –, größer sein als der

Gesamtdurchmesser  $D$  der Faser. Dadurch wird gewährleistet, dass der Strahldurchmesser in der jeweiligen Bearbeitungsebene immer kleiner  $\sqrt{2} d_f$  ist.

Fig. 5 zeigt die Draufsicht auf die Schnittfuge etwa in dem Stadium des Trennprozesses, welcher der Durchtrennung des halben Faserquerschnittes entspricht. Als weiterer relevanter Verfahrensparameter ist hier der Abstand  $a$  benachbarter Elementarvolumina zu sehen, also die Überlappung der Einzelpulse, die im typischen Fall ca. 70% betragen sollte.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel illustriert Fig. 6 schematisch – die Durchtrennung eines Faserbündels aus drei Einzelfasern. Dabei gelten für die Ausbildung der Schnittfuge 5 letztlich die analogen Aussagen, wie sie für die Einzelfaser diskutiert wurden.

Besonders hohe Anforderungen an das Verfahren stellt das Trennen von Einzelfasern und Faserbündeln unter definiertem Winkel  $\phi$  zwischen der Faserachse und der Trennebene. Die geometrischen Verhältnisse für diesen Fall zeigt Fig. 7.

## Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

	1	Faserkern
	2	Fasermantel
5	3	Schutzmantel
	4	Laserstrahl
	5	Schnittfuge
	6	CO <sub>2</sub> -Laser
	7	Modulatereinheit
10	8	Arbeitsstrahl
	9	Reststrahl
	10	Strahlführungseinheit
	11	Strahlauffangeinheit
	12	Strahlablenkeinheit
15	13	Objekt
	14	Justierbare Präzisionshalterung
	15	Zuführungseinrichtung
	16	Abführungseinrichtung
	17	Zentrale Steuereinheit
20	s	Strecke
	h	Pfeilhöhe
	$\hat{P}$	Impulsspitzenleistung
	$\tau_{\text{Imp}}$	Impuls-Halbwertsbreite
25	$f_{\text{Imp}}$	Impuls-Folgefrequenz
	d	optische Eindringtiefe
	$z_R$	Rayleighlänge
	D	Gesamtdurchmesser
	$d_f$	Fokusedurchmesser

## Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung, dadurch gekennzeichnet,  
dass aus der CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung ein Arbeitsstrahl (8), bestehend aus Einzelpulsen mit den Strahlungsparametern Impulsspitzenleistung  $\hat{P}$ , einige  $W \leq \hat{P} \leq 1 \text{ kW}$ , Impuls-Halbwertsbreite  $\tau_{\text{imp}}, 10^{-5} \text{ s} \leq \tau_{\text{imp}} \leq 10^{-4} \text{ s}$  und Impulsfolgefrequenz  $f_{\text{imp}}, 100 \text{ Hz} \leq f_{\text{imp}} \leq \text{mehrere kHz}$  ausgekoppelt wird,  
dass der Arbeitsstrahl (8) auf eine fixierte Lichtleitfaser fokussiert und in einer Ebene entlang einer Bearbeitungszone hin- und herbewegt wird, so dass pro Einzelimpuls ein Elementarvolumen, annähernd gleich dem Produkt aus optischer Eindringtiefe,  $d$  und auftreffendem Strahlquerschnitt, mit einem Durchmesser etwa gleich dem Fokusbereich  $d_f$ , auf alle Fälle jedoch kleiner  $\sqrt{2} d_f$  abgetragen wird, bis die Lichtleitfaser vollständig durchtrennt ist.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass zwischen den einzelnen Hin- und Herbewegungen über die Lichtleitfaser eine Abkühlphase im Bereich von 10...100 ms eingelegt wird, um eine ausreichende Abkühlung der Bearbeitungszone zu gewährleisten.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Strahlungsparameter während der Bearbeitung in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften der unterschiedlichen Werkstoffe der Lichtleitfaser angepasst werden.
- 25 30

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Lichtleitfasern Einzelfasern unterschiedlicher Form und Dicke,  
z.B. Monomode- und Multimodefasern, Gradientenfasern oder  
ummantelte und nicht ummantelte Fasern sein können.

5

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass das Verfahren auch auf Faserbündel und Faserkomponenten  
anwendbar ist.

10

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Elementarvolumen sehr klein, d.h. kleiner  $10^{-3}$  gegenüber dem  
Gesamtabtrag bei der vollständigen Durchtrennung und insbesondere  
die optische Eindringtiefe  $d$  bei einem einzelnen Überlauf des  
Strahlbündels über die Probe klein gegen den Durchmesser des  
Faserkerns (1) ist.

15

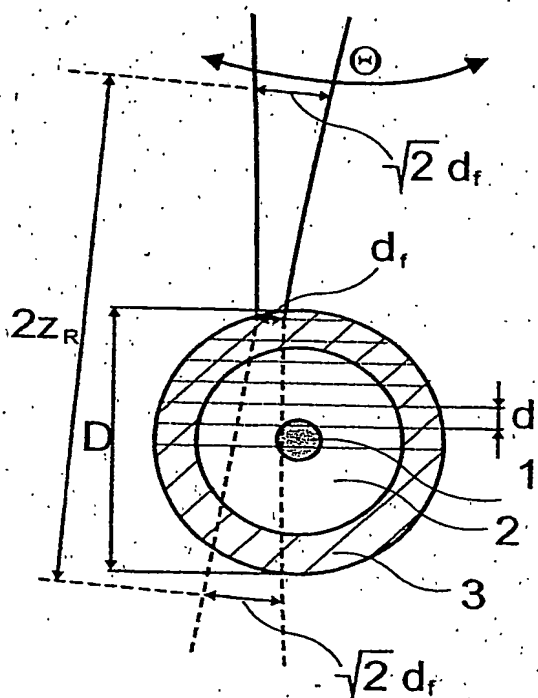
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Bearbeitungszone mit einem Arbeitsgas beblasen wird,  
beispielsweise gereinigter Preßluft bei ca. 1 bar Arbeitsdruck, um die  
entstehenden Materialdämpfe aus der Bearbeitungszone abzuführen.

20

## Zusammenfassung

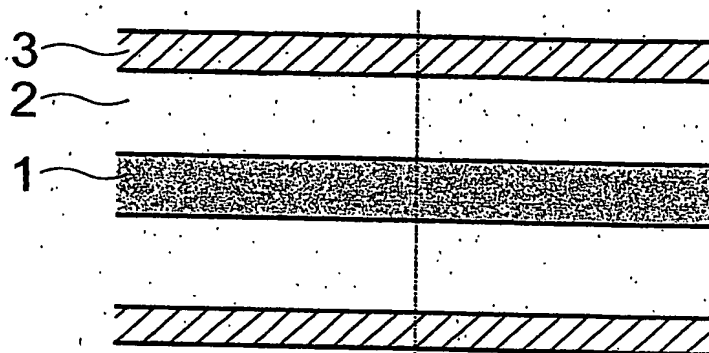
- 5 Verfahren zum Trennen von Lichtleitfasern mittels CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung anwendbar für Fasern unterschiedlicher Art und Größe, mit und ohne Ummantelung sowie für Faserbündel und Faserkomponenten, bei dem die Trennung durch ein dem jeweiligen Material angepasstes, spezielles Impulsregime über den Abtrag kleinster Werkstoffvolumina entlang einer Linie so lange in einem „sägeähnlichen“ Prozess erfolgt, bis die vollständige Trennung erreicht ist.

10  
Fig. 4

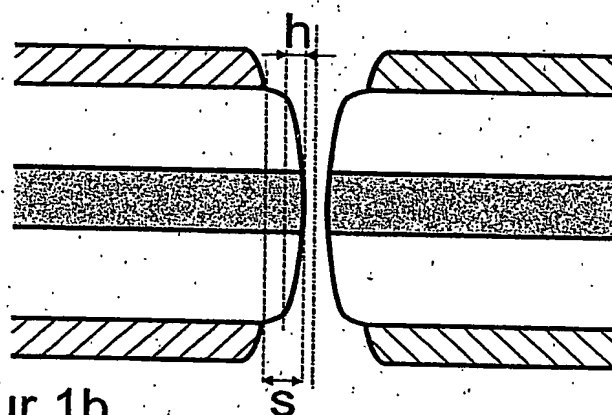


Figur 4

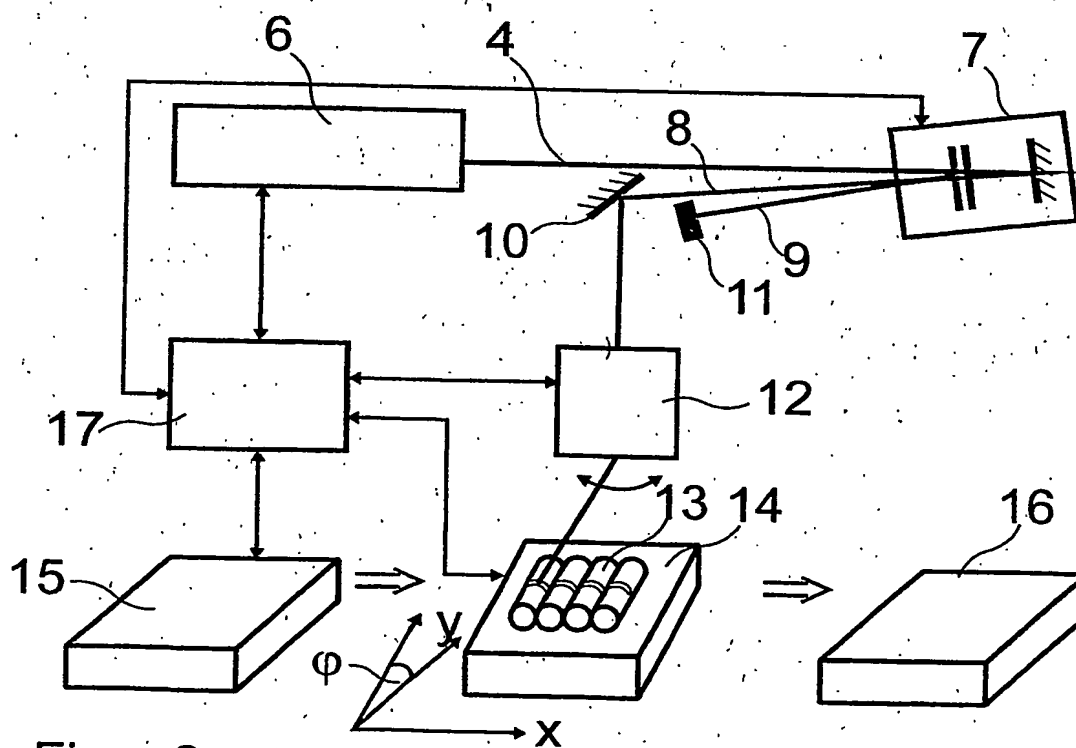




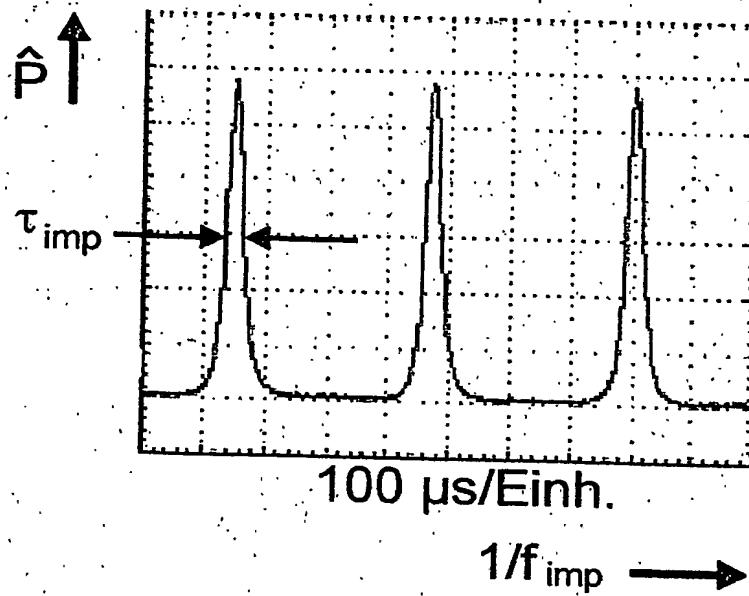
Figur 1a



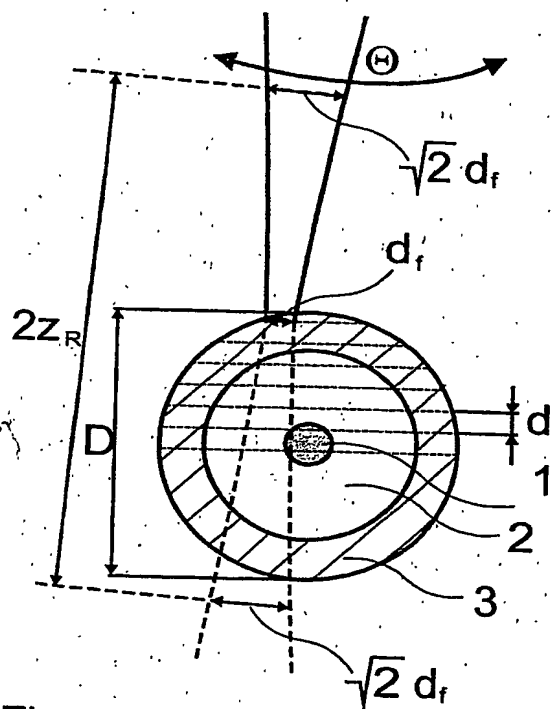
Figur 1b



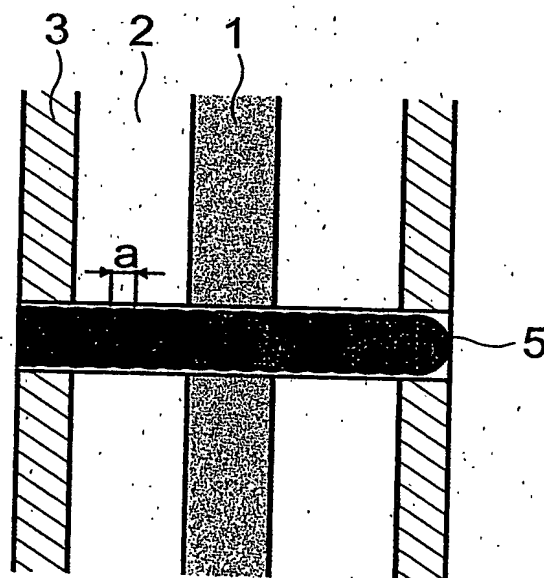
Figur 2



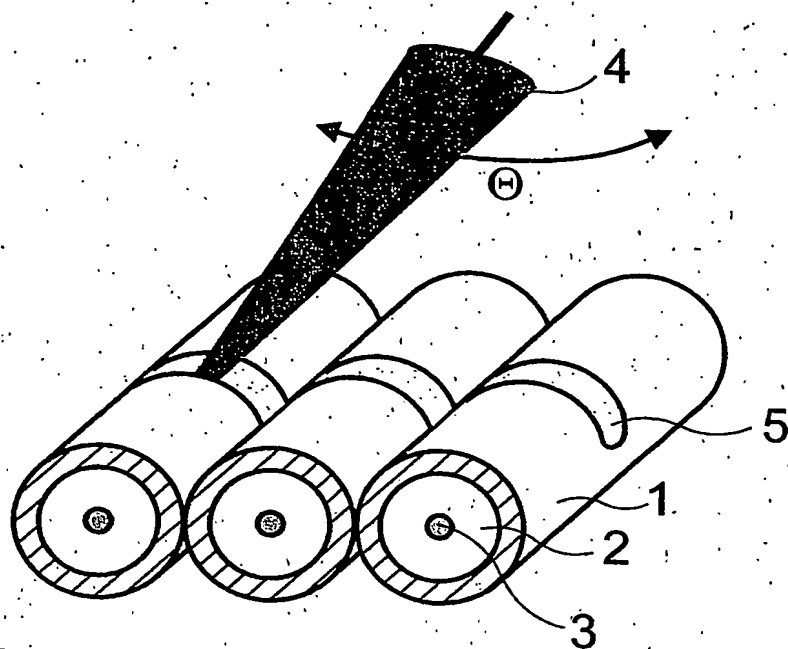
Figur 3



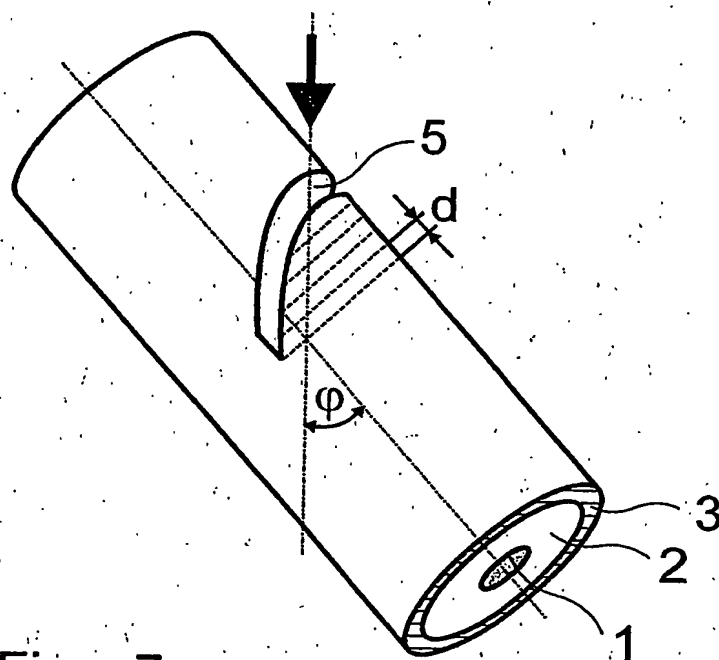
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**